



TITLE:

# 低次元超流体(第21回物性若手「夏の学校」開催後記)

AUTHOR(S):

中嶋, 貞雄; 若田, 光延

---

CITATION:

中嶋, 貞雄 ...[et al]. 低次元超流体(第21回物性若手「夏の学校」開催後記). 物性研究 1976, 27(3): 122-124

ISSUE DATE:

1976-12-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/89250>

RIGHT:

双極子 — 双極子相互作用の場合は、いわゆる反電場効果のために、 $\sigma(\mathbf{q})$  のうちで  $\mathbf{q}$  が分極と平行になる成分は押えられる。その結果、強誘電体では Ginzburg Criterion が転移点に至るまで成り立つことになる。(1) 式に反電場効果を表わす項を追加して同様なことを行なうと(3) 式に代わる不等式は、

$$\kappa^2 \gg \frac{y}{x} \kappa^2 \quad (4)$$

となる。ただし  $x$  は双極子相互作用の占める割合と関係した定数で、直接型強誘電体では  $y/x \ll 1$  である。このために、平均場近似は  $T_c$  まで成り立つ。

講義においては以上のような静的臨界現象についての理論的な考察がまずその前半に行なわれた。後半では、さらに動的臨界現象についての考察や、関連するいろいろな実験結果の紹介などが行なわれた。 (文責 江間健司)

## 低次元超流体

講師 東大物性研 中 嶋 貞 雄

均質な固体(グラフォイル等)表面に  $^4\text{He}$  を吸着していくと、第一層目は吸着固体からの強いファン・デル・ワールスカにより高密度までつめ込むことが可能で、 $^4\text{He}$  は 2 次元固体を形成する。(比熱:  $C_2 \propto T^2$ ) さらに積み上げていくと、平均密度はバルクな液体のそれに近づき、2~3 層以上では膜厚できまる、ある転移温度以下で超流動が第 3 音波、永久回転の実験等で観測されている。(後者の実験から得られた超流動速度は、ある臨界温度に達すると急激に減少する。)

一方、3 次元系において連続群で記述される対称性の破れによって生ずる LRO がそれと類似の(有限温度の)低次元系では存在しないことが Bogoliubov の不等式を用いて証明されている。(超流動については Hohenberg)

講義はこれらの事実に基づき、 $^4\text{He}$  薄膜(2 次元 Bose 粒子系)の超流動性、さらに 2 次元系での相転移の可能性について、最近の理論的研究が紹介された。実験事実の分析的解説、その理論、一般的観点への拡張といった順序で講義は進められた。その中に

も先生独自の Physics が語られ、大いに学ぶ点があった。以下、予稿にあげられた 2 つの問題を中心に講義内容を要約する。

1. 物質波の長距離秩序により起こるはずの超流動が薄膜でも起る。これをどう説明するのか？ また、出現温度を決めているものは何か？

◦  $T = T_\lambda$  からの approach (Ginzburg-Pitaevskii)

自由エネルギーをオーダー・パラメタで展開する現象論であるが、ゆらぎを Hartree 近似で取り込むと、 $T > 0$  で相転移が起らないことが示される。が、膜厚できまるある温度より充分低温での状態は ordered state に近い。(fluctuation superfluidity)

◦ vortex pair

± の vortex の束縛状態。その excitation energy を、次元解析によって求め、最大超流動速度及び activation process として超流動の減衰が説明された。

◦  $T = 0$  からの approach (Berezinskii)

2 次元の場合、絶対零度では LRO の存在が可能である。有限温度では phase のゆらぎによりこれが破壊されてしまうが、充分低温では全系をある大きさの cell に分割し、各 cell の粒子数のゆらぎと phase でこの系を記述することができる。すなわち系の Hamiltonian を個々の cell の Hamiltonian (粒子数がゆらいでいるための増加エネルギー) と各 cell 間の phase-coupling との和で表わすことができる。この Josephson メカニズムに基づいたモデルを用い、調和近似によって相関関数の漸近形 ( $r \rightarrow \infty$ )

$$\langle \psi^+(0), \psi(r) \rangle \propto \left( \frac{r_T}{r} \right)^{\alpha(T)}, \quad \left( \alpha = \frac{T}{2\pi J}, \quad r_T = \frac{\hbar c_1}{T} e^{-\gamma} \right)$$

が導かれる。(但し、 $J$  は coupling constant,  $c_1$  は音速,  $\gamma$  はオイラー定数)

Berezinskii は異なる温度領域からの approach によって得られた analytic な性質の相異から、途中のある温度で相転移が起ると考えた。しかし、その物理的メカニズムは何であるのかという問題が生ずる。これに対し、Berezinskii, Kostaritz-Thouless は vortex pair と関連づけた予測をしている。

2. 2 次元系における LRO のない相転移の可能性

他の 2 次元系についても相転移の存在が主張されている。

- 平面上の大きさ 1 の古典的スピン系 (Zittartz)

$M \propto H^{\alpha(T)}$  という関係式を導き,  $0 < \alpha(T) < 1$  では帯磁率が,  $1 < \alpha(T) < 2$  の温度領域では  $\partial^2 / \partial H^2$  が発散することなどから continuous order の相転移なるものが考えられている。

- 2次元古典粒子系の計算機実験

ある温度以下で 3 角格子の結晶 (domain 集合),  $T = 0$  で完全な結晶。物理的メカニズムとしては soliton 的 excitation が考えられる。

### 3. TTF-TCNQ の Peierls 転移における CDW 間の相互作用の効果 (Nakajima & Okabe)

CDW (phase mode) 間の相互作用を考慮すると相転移は 2 次元的になるということでこの問題が取り上げられた。phase mode だけで記述された Fukuyama モデルハミルトニアンにこの相互作用を導入した理論である。調和近似で得られた Hamiltonian に相互作用の非調和項を摂動と考え, Debye-Waller factor に相当する phonon self-energy の correction が求められ, 転移温度が評価された。Fermi 温度を 5000K とすると転移温度は約 130K で実験値 (54K) に近い値が示された。

(文責 若田光延)